

## **PENGUKURAN UNTUK MENDETEKSI DEFORMASI BANGUNAN SIPIL**

Sutomo Kahar<sup>1</sup>

### **ABSTRACT**

*Deformation for territory will impact to above the building stability and also will give an impact to the coordinate points as a control the building.*

*The problem will are begin from decided the points as a reference points in the measurement after deformation, because all of the reference points are arguing the truth as a control points. Therefore, the truth of control points in the long term need to watching the various deformations or changing above the land.*

**Keywords :** *Deformation, control point arguing, measurement system*

### **PENDAHULUAN**

Kegiatan exploitasi dan pemeliharaan suatu bangunan sipil adalah merupakan suatu kegiatan yang penting agar bangunan tersebut dapat berfungsi secara normal, sehingga memberi manfaat yang sesuai dengan rencana teknis, sepanjang umur efektif dari bangunan tersebut dan bukanlah malahan membahayakan masyarakat umum.

Deformasi (pergeseran letak) suatu bangunan sipil umumnya diakibatkan oleh bergesernya dasar bangunan yang diakibatkan oleh bermacam macam kejadian, antara lain: tanah longsor, gempa bumi, penurunan permukaan tanah dan lain lainnya.

Oleh karena itu bangunan sipil yang berhubungan atau bermanfaat untuk masyarakat luas sebaiknya secara berkala dilakukan pengukuran posisinya untuk mengetahui sejauh mana bangunan mengalami deformasi. Posisi titik control sendiri bukanlah merupakan sesuatu yang statis atau tidak pernah mengalami perubahan. Perubahan titik control dapat

diketahui dari perubahan posisi yang diamati pada waktu berikutnya. Oleh karena itu, keberadaan titik kontrol dalam jangka panjang diperlukan untuk memantau deformasi atau perubahan-perubahan berbagai obyek di permukaan tanah.

### **PEMBAHASAN**

Pada prinsipnya, posisi titik kontrol pada suatu saat (katakanlah pada waktu t1 pada saat dilakukan pengamatan kembali posisinya belum tentu sama dengan posisi pada waktu t2)

$$P(t_1) \neq P(t_2) \dots \dots \dots (1)$$

Apabila posisi yang didapatkan dari kedua pengamatan tersebut sama, dan apabila tidak terdapat kesalahan-kesalahan karena pengamatan, dapat dikatakan bahwa titik kontrol tersebut tidak mengalami pergeseran, baik horizontal maupun vertical. Akan tetapi apabila dari 2 pengamatan tersebut terdapat perbedaan, dapat saja telah terjadi deformasi, asalkan perbedaan tersebut harus dibuktikan tidak disebabkan

---

<sup>1</sup> Pengajar jurusan Teknik Geodesi, Teknik Sipil Fakultas Teknik UNDIP

karena kesalahan pengamatan atau gangguan yang disengaja pada titik kontrol. Perubahan yang terjadi ditunjukkan melalui persamaan berikut :

$$D ( t_1 - t_2 ) = P(t_2) - P(t_1) \dots\dots\dots 2)$$

Dimana :  
 $D ( t_1 - t_2 )$  : perubahan posisi dari 2 waktu pengamatan yang berbeda.

Besaran yang dihasilkan dari perubahan posisi tersebut selama beberapa periode pengamatan digunakan untuk menunjukan karakteristik/pola perubahan yang terjadi dan untuk mendeteksi penyebab terjadinya perubahan tersebut. (Abidin, 1998; Abidin et al., 1998; 2001)

**SISTEM PENGUKURAN**

Pendefinisian system koordinat yang dikenal dengan datum sangat diperlukan pada setiap proses hitung perataan parameter dari suatu jaring pengukuran.

Pada jaring pengukuran horizontal, satu sistem koordinat dianggap telah terdefinisi bila bagi satu titik telah ditetapkan nilai koordinatnya dan satu sisi telah ditetapkan nilai sudut jurusannya, yang biasa dikenal dengan istilah penetapan koordinat awal dan jurusan awal.

Pada bangunan sipil (contoh = bendungan), bangunan bangunan utama, seperti tubuh bendungan, bangunan pelimpah, bangunan penyadap, trowongan, dll, masing-masing mempunyai posisi koordinat tertentu dan biasanya disekitar bangunan bendungan dipasang titik titik referensi tetap (benchmark) yang mempunyai koordinat untuk titik kontrol.

Pada study deformasi suatu wilayah dengan pendekatan geodetic, semua titik – titik control di “ ragukan “kebenarannya sebagai titik referensi atau kondisi jaringan system koordinatnya tidak terdefinisi, oleh karena itu dalam perhitungan perataan hasil pengukuran setelah deformasi semua titik dijadikan parameter.

Untuk mendeteksi suatu bangunan sipil terdeformasi, bisa dilakukan dengan 2 (dua) sistem pengukuran, yaitu :

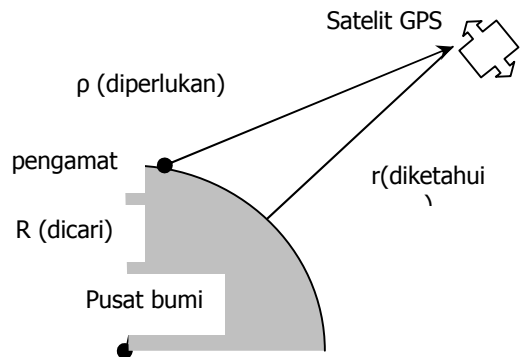
1. Pengukuran Global Positioning System (GPS)
2. Pengukuran Triangulasi

**DASAR PENGUKURAN GPS**

Konsep dasar penentuan posisi koordinat dengan GPS adalah reseksi (pengikatan kebelakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui. Gambar 1 (Abidin 2000)

Dalam hal ini, parameter yang akan ditentukan adalah vector posisi geosentrik pengamat (R). Untuk itu, karena vector posisi geosentrik satelit GPS (r) telah diketahui, maka yang perlu ditentukan adalah vector posisi toposentrik satelit terhadap pengamat ( $\rho$ ) :

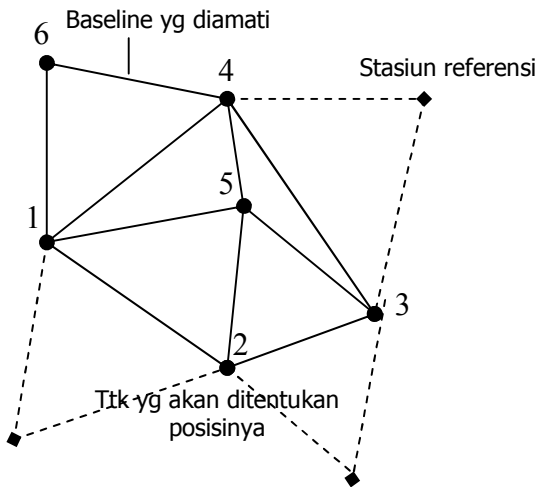
$$R = r - \rho$$



Gambar 1. Prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS

Posisi koordinat yang dihasilkan oleh GPS adalah posisi koordinat tiga dimensi (x, y, z) kartesian ataupun ( $\phi, \lambda, h$ ) geodetik. Yang dinyatakan dalam datum World Geodetic System - 84 (WGS – 84).

Gambar 2 :



Gambar 2. Penentuan posisi titik – titik dengan metode survey GPS (metoda jaringan)

**PERHITUNGAN GPS**

Datum perhitungan posisi koordinat yang digunakan oleh GPS adalah WGS-84. seandainya posisi koordinat titik-titik daerah studi deformasi dipresentasikan dalam datum lain, maka sebelum dilakukan pengukuran GPS diperlukan proses transformasi koordinat dari datum WGS-84 ke datum bersangkutan sehingga koordinat sebelum dan sesudah deformasi bisa dievaluasi, dikarenakan sudah dalam satu system referensi.

Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk melakukan transformasi dari system koordinat kartesian ke system koordinat geodetik.

$$\varphi = a \tan \left[ \frac{Z + e'^2 \cdot b \sin^3 \theta}{\rho - e^2 a \cos^3 \theta} \right]$$

$$\lambda = a \tan 2 ( x, y )$$

$$h = \frac{\rho}{\cos(\varphi)} - N(\varphi) \dots \dots \dots (3)$$

dengan (φ, λ, h) = lintang, bujur dan tinggi di atas ellipsoid dan X, Y, Z = koordinat kartesian ECEF serta parameter – parameter lainnya :

$$\rho = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\theta = a \tan \left( \frac{Za}{\rho b} \right)$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

$$N(\varphi) = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2(\varphi)}} \dots \dots \dots (4)$$

Dengan a = setengah sumbu panjang ellipsoid referensi, b = setengah sumbu pendek ellipsoid, f = ( a - b ) / b dan e<sup>2</sup> = 2f - f.

Rumus yang digunakan untuk melakukan transformasi dari system koordinat geodetic ke system koordinat kartesian adalah :

$$X = ( N + h ) \cos \varphi \cos \lambda$$

$$Y = ( N + h ) \cos \varphi \sin \lambda$$

$$Z = ( N ( 1 - e^2 ) + h ) \sin \varphi \dots \dots \dots (5)$$

Berikut ini ditunjukkan penggunaan rumus baku Molodensky untuk konversi posisi suatu titik, misalnya, pada datum Bessel 1841 ke WGS - 84, jika diketahui koordinat geodetic pada datum Bessel 1984 φ<sub>B</sub>, λ<sub>B</sub>, h<sub>B</sub> serta parameter – parameter ellipsoid a<sub>B</sub>, f<sub>B</sub> , e<sub>B</sub><sup>2</sup> = 2f<sub>B</sub> - f<sub>B</sub>, a<sub>WGS - 84</sub> dan f<sub>WGS - 84</sub>. Parameter – parameter datum shift Bessel 1841 ke WGS - 84 diketahui δX, δY, δZ .

Pergeseran lintang, bujur dan tinggi di atas ellipsoid referensi adalah :

$$\delta\varphi = \frac{1}{R_m + h_b} \left[ \begin{aligned} &(-\delta X \sin \varphi_B \cos \lambda_B - \delta Y \sin \varphi_B \sin \lambda_B) \\ &+ \delta Z \cos \varphi_B + \alpha a \frac{R_n e_B^2 \sin \varphi_B \cos \varphi_B}{a_B} \end{aligned} \right]$$

$$+ \delta \left[ \frac{R_m}{(1-f_B)} + R_n - (1-f_B) \right] \sin \varphi_B \cos \varphi_B$$

$$\delta \lambda = \frac{-\delta X \sin \lambda_B + \delta Y \cos \lambda_B}{(R_n + h_b) \cos \varphi_B} \dots \dots \dots (6)$$

$$\delta h = \delta X \cos \varphi B \cos \lambda B + \delta Y \cos \varphi B \sin$$

$$\lambda B + \delta Z \sin \varphi B - \delta a \frac{a_B}{Rn} + \delta f(1 - f_B) \cdot Rn \sin \varphi B \sin \varphi B.$$

Dengan  $1 - f_B = b_B / a_B$  dan pergeseran parameter – parameter ellipsoid :

$$\delta a = a_{WGS} - 84 - a_B$$

$$\delta f = f_{WGS} - 84 - f_B$$

$$Rn = \frac{a_B}{\sqrt{1 - e^2 - \sin(\varphi_B)^2}}$$

$$Rm = a_B - \frac{1 - a_B}{(1 - e^2 - \sin(\varphi_B)^2)^{3/2}}$$

Konversi ke datum WGS – 84 diperoleh dengan :

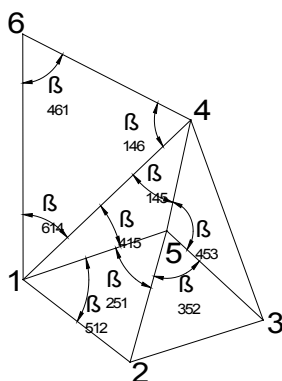
$$\varphi_{WGS} - 84 = \varphi B - \delta \varphi$$

$$\lambda_{WGS} - 84 = \lambda B - \delta \lambda \dots\dots\dots (7)$$

$$h_{WGS} - 84 = hB - \delta h$$

**DASAR PENGUKURAN TRIANGULASI**

Pada metoda Triangulasi, titik-titik yang akan diukur dihubungkan satu dengan lainnya, sehingga merupakan jaring-jaring segitiga dimana seluruh sudutnya terukur. (Gambar 3).



Gambar 3. Jaring-jaring segitiga yang terbentuk dari titik-titik yang dihubungkan

**PERHITUNGAN TRIANGULASI**

Untuk mengetahui perubahan posisi koordinat dari suatu daerah studi deformasi, diperlukan dua data pengukuran yaitu pengukuran sebelum dan sesudah terjadi deformasi dan dari data – data dua pengukuran pengamatan tersebut dilakukan uji statistic terdiri dari uji kesebangunan jaringan dan uji pergeseran obyek.

**UJI KESEBANGUNAN JARINGAN**

1. Membentuk model hitungan

$$UdVd + d = 0 \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

Ud : matriks koefisien koreksi pengamatan

d : pergeseran koordinat titik obyek

2. Menghitung nilai korelat pegeseran

$$K : K = (U_d Q_d U_d^T)^{-1} d \dots\dots\dots (9)$$

dengan  $Q_d = Q(1) + Q(2)$

3. Menhitung nilai koreksi pergeseran Koordinat titik obyek Vd

$$Vd = -Q_d U_d^T (U_d Q_d U_d^T)^{-1} d \dots\dots (10)$$

4. menghitung varian nilai pergeseran :

$$\sigma_{od}^2 = \frac{\sigma_{01}^2 + \sigma_{02}^2}{2} \dots\dots\dots (11)$$

$$\sigma_{od}^2 = \frac{V_d^T Q_d^{-1} V_d}{r} \dots\dots\dots (12)$$

5. Menyusun hipotesis  
 $H_0 : \sigma_{od}^2 = \sigma_{od}^2 \dots\dots\dots (13)$   
 $H_a : \sigma_{od}^2 > \sigma_{od}^2 \dots\dots\dots (14)$
6. Menetapkan taraf uji ( $\alpha$ )
7. Menentukan nilai batas  $F_{1-\alpha, 0, \infty, r}$  dari table fungsi Fisher dengan argumen  $\alpha_0$  dan derajat kebebasan  $r$  ( $r$ =jumlah persamaan syarat).
8. menguji hipotesis nol ( $H_0$ )  
 Hipotesis  $H_0$  ditolak apabila :

$$\frac{\sigma_{od}^2}{\sigma_{od}^2} > F_{1-\alpha, \infty, r} \dots\dots\dots (15)$$

Penolakan hipotesis nol menunjukkan adanya pergeseran koordinat jaringan. Apabila terdapat pergeseran koordinat pada jaringan maka perlu dilakukan uji statistic lagi yang digunakan untuk menentukan letak pergeseran koordinat.

**UJI PERGESERAN TITIK OBYEK**

Uji pergeseran titik obyek bertujuan untuk mengetahui letak titik yang mengalami pergeseran. Uji statistik untuk mendeteksi pergeseran pada masing – masing titik menggunakan prinsip data **snooping**. Besaran uji statitik yang digunakan untuk menguji masing – masing titik adalah Wdi. Tahap pengujian adalah sebagai berikut : (Baarda, 1967)

1. Menyusun hipotesis  
 Ho : titik ke-i tidak mengalami pergerakan  
 Ha : titik ke-i mengalami pergerakan
2. Menetapkan tarif uji (α)
3. Menentukan nilai batas  $F^{1-\alpha}, \infty, r$  dari table fungsi Fisher dengan argument α.
4. Menghitung Wdi. (Baarda, 1967)

Dalam hal ini :

$$W_{di} = \frac{Q_{di}^{-1} V_{di}}{\sigma_{od} \sqrt{N_{di}}} \dots\dots\dots (16)$$

$$N_d = U_d^T (U_d Q_d U_d^T)^{-1} U_d \dots\dots (17)$$

5. Menguji hipotesis nol (Ho)  
 Hipotesis nol akan diterima bila :

$$|W_{di}| \geq F^{1/2}_{1-\alpha, \infty, r} \dots\dots\dots (18)$$

Apabila Ho diterima, menunjukkan titik ke-i tidak mengalami pergeseran, sebaliknya apabila Ho ditolak maka titik tersebut mengalami pergeseran.

**HASIL ANALISIS DEFORMASI**

Bahan contoh perhitungan ini berupa data jaring triangulasi yang berada pada daerah gempa yang diukur dalam dua pengukuran, sebelum dan sesudah gempa di tapanuli (sumatera utara) pada tanggal 17 mei 1982 yang diambil dari skripsi Syukur, M., tahun 1989. jumlah titik triangulasi yang dianalisis pada penelitian ini sebanyak 6 titik, seperti pada Gambar 3, Sedangkan jumlah pengukuran sudut adalah 14, yaitu. β614, β415, β512, β461, β154, β453, β352, β251, β534, β235, β146, β125, β523, β145. Data Pengukuran dapat dilihat pada table 1 :

Ukuran Sudut ( ° ' " )	
Pengukuran Satu	Pengukuran Dua
β614=49° 45' 03,3"	β614=49° 45' 19,4"
β415=23° 27' 55,6"	β415=23° 27' 24,4"
β512=51° 26' 15,1"	β512=51° 26' 15,9"
β461=65° 23' 18,3"	β461=65° 23' 17,9"
β154=120° 34' 23,9"	β154=120° 35' 33,3"
β453=124° 33' 28,2"	β453=124° 32' 18,9"
β352=59° 5' 25,6"	β352=59° 5' 21,8"
β251=55° 46' 42,3"	β251=55° 46' 46,0"
β534=23° 19' 15,1"	β534=23° 19' 37"
β235=55° 5' 5,36"	β235=55° 5' 13,5"
β146=64° 51' 38,4"	β146=64° 51' 17,9"
β125=72° 47' 2,6"	β125=72° 46' 52,2"
β523=65° 49' 29"	β523=65° 49' 8,05"
β145=35° 57' 40,5"	β145=35° 57' 2,3"

Hasil hitungan analisis deformasi sebagai dasar pembahasan untuk mengetahui nilai pergeseran yang terjadi benar-benar disebabkan adanya deformasi. Analisis deformasi yang dilakukan dengan uji statistik kesebangunan jaringan dan uji pergeseran titik obyek. Hasil hitungan pergeseran koordinat dan nilai koreksinya dapat dilihat pada table 2 :

Tabel 2. Nilai Pergeseran dan nilai koreksi pergeseran

Koordinat	di(m)	Vdi(m)
X1	0,000	0,000
Y1	0,000	0,000
X2	0,000	0,000
Y2	0,000	0,000
X3	0,256	0,128
Y3	2,826	-1,413
X4	2,925	-1,462
Y4	-1,723	0,361
X5	- 0,450	0,225
Y5	1,496	-0,748
X6	0,000	0,000
Y6	0,000	0,000

Pada table 2 dapat dilihat bahwa koordinat titik 1, 2 dan 6 nilai pergeseran kearah X dan Y sama dengan 0, sedangkan untuk titik 3, 4 dan 5 pergeseran ke arah X dan Y nilainya antara -0,450 m sampai dengan 2,925 m. pergeseran terbesar pada arah X titik 4 sebesar 2,925 m.

Uji kesebangunan jaringan dilakukan dengan menggunakan table fungsi Fisher, dengan taraf uji 95% dan derajat kebebasan = 12 (jumlah persamaan syarat) nilai statistic dari table fungsi Fisher dapat ditentukan, yaitu :  $F_{(0,05,12,\infty)} = 1,75$ . nilai

hipotesis pada kedua kala  $\frac{\hat{\sigma}_{od}^2}{\sigma_{od}^2} = 3,25$ .

Hasil uji menunjukkan bahwa persyaratan ditolak dengan hasil hitungan  $3,25 < 1,75$ . Penolakan hipotesis nol berarti bentuk jaringan pada pengukuran ke satu dan ke dua mengalami pergeseran atau dapat dikatakan koordinat – koordinat pada jaringan tersebut mengalami deformasi.

Uji pergeseran titik obyek untuk mengetahui titik koordinat mana yang mengalami pergeseran. Uji ini dilakukan setelah uji kesebangunan jaringan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan table fungsi Fisher dengan taraf uji = 95% sehingga nilai statistic dari table fungsi Fisher dapat ditentukan, yaitu  $F_{(0,05,1,\infty)} = 3,84$  dan

$F^{1/2}_{(0,05,1,\infty)} = 1,96$ . hipotesis nol dapat diterima apabila persyaratan  $|W_{di}| \leq F^{1/2}_{(0,05,1,\infty)}$  dapat dipenuhi.

Apabila Ho diterima, menunjukkan bahwa koordinat ke – i (XI, YI) tidak mengalami pergeseran dan apabila ditolak berarti koordinat titik ke – i mengalami pergeseran. Hasil uji terhadap koordinat – koordinat titik obyek dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. hasil uji signifikasi parameter

Koordinat	Wdi	Hasil Uji
X1	0,000	Diterima
Y1	0,000	Diterima
X2	0,000	Diterima
Y2	0,000	Diterima
X3	5,55	Ditolak
Y3	4,71	Ditolak
X4	20,02	Ditolak
Y4	3,69	Ditolak
X5	2,27	Ditolak
Y5	6,95	Ditolak
X6	0,000	Diterima
Y6	0,000	Diterima

Hasil uji statistik pergeseran titik obyek pada tabel 3 menunjukkan bahwa tidak semua hasil uji diterima. Titik 1, 2, dan 6 hipotesis nol diterima, hal ini berarti bahwa titik 1, 2, dan 6 tidak mengalami pergeseran atau tidak mengalami deformasi. Sedangkan untuk titik 3, 4, dan 5 hipotesis nol ditolak, hal ini berarti bahwa titik 3, 4, dan 5 mengalami pergeseran atau mengalami deformasi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pada pengukuran dengan system GPS untuk daerah studi deformasi, problem transformasi koordinat karena perbedaan datum akan menjadi kunci utama evaluasi hasil pengukuran sebelum dan sesudah deformasi. Seandainya pengukuran sebelum deformasi mempergunakan datum local yang hubungan geometrinya dengan datum WGS – 84 tidak diketahui atau tidak jelas maka evaluasi hasil pengukuran sebelum dan sesudah deformasi akan sulit dan bahkan tidak bisa dievaluasi
2. Untuk pengukuran dengan system triangulasi beda datum tidak menjadi masalah karena dalam perhitungan pergeseran koordinat dan nilai koreksinya tidak diperlukan perhitungan transformasi koordinat lebih dahulu antara hasil pengukuran sebelum dan sesudah deformasi

## DAFTAR PUSTAKA

*Baarda, W, 1967, Statistical Concepts in Geodesy, Cumputiny, Centre of the Dept Geodetic Institute, Rijkscommissie Voor*

*Geodestic, Kanaalweg 4, Delfft, Netherlands.*

*Abidin, H.Z, 2001, Penentuan posisi dengan GPS dan Aplikasinya, P.T Pradnya Paramita, Jakarta*

*Widjayanti, Yunina, 2004, Penggunaan Metode Inner Constraint untuk Analisis Titik Stabil Pada Study Deformasi, Seminar Nasional Dies Natalis ke 45 Jurusan Tekhnik Geodesi, Fakultas Tekhnik UGM*

*Kahar, Sutomo, 2000, Sistem Pengukuran Kerangka Horizontal, Jurusan Tekhnik Sipil Fakultas Tekhnik UNDIP, tidak dipublikasikan, Semarang*

*Syukur, M, 1989, Rencana Pengukuran Kerangka Dasar Horizontal dan Prosedur Hitungannya untuk mendeteksi Pergeseran Daerah Patahan, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Tekhnik, Institut Teknologi Bandung, tidak dipublikasikan, Bandung*

*Poerbandono, Eka Djumarsyah, 2005, Survey Hidrografi, P.T Refika Aditama, Bandung*

*Jack, McCormac, 2004, surveying, fifth edition, Clemson University, John Wiley & sons Inc, USA*